

**EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE SECADO EN LAS PROPIEDADES
FISICOQUÍMICAS DEL BANANO (*CAVENDISH VALERY*).**

CRISTIAN ESTEBAN DÍAZ URBANO

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
INGENIERÍA DE ALIMENTOS
PALMIRA, VALLE DEL CAUCA**

2018

**EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE SECADO EN LAS PROPIEDADES
FISICOQUÍMICAS DEL BANANO (*CAVENDISH VALERY*).**

CRISTIAN ESTEBAN DÍAZ URBANO

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero en Alimentos

DIRECTOR

Mg. Beatriz Guevara

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
INGENIERÍA DE ALIMENTOS
PALMIRA, VALLE DEL CAUCA**

2018

DEDICATORIA

**A Dios primeramente, a mis amados padres por su apoyo incondicional
y especialmente a la profesora Beatriz por su colaboración.**

RESUMEN

El propósito de este trabajo fue estudiar los procesos de secado por Liofilización, Ventana de Refractancia (VR) y Convección forzada en rodajas de banano, evaluando el efecto de las temperaturas usadas en los procesos de secado en las propiedades fisicoquímicas (Textura), nutricionales (fibra, vitaminas A y C, capacidad antioxidante) y microbiológicas. En la liofilización se trabajó con temperaturas de -40°C y un nivel de vacío de 130 micrones de hg, en la ventana de refractancia la temperatura del proceso fue de 90°C y en el secado convectivo las temperaturas fueron de 75 a 80°C . Se encontró que en los métodos de secado por liofilización, VR y convección forzada presentaron diferencia significativa sobre las variables de respuesta (fibra, vitaminas A y C) y en las otras variables de respuestas (Capacidad antioxidante y fuerza de fractura) no presentaron diferencias significativas. Los valores de la rodajas secadas por los tres métodos mostraron los siguientes resultados: Mayor contenido de fibra (L) 11.507g/100g, el mayor contenido de vitaminas A y C se encontraron (VR) 9.147UI/100g y 7.727mg/100g, , en la capacidad antioxidante el valor mayor encontrado fue (VR) 2091.00 $\mu\text{moles eq.Trolox/g}$, el valor mayor de fuerza de fractura fue (L) 63.93 ± 9.60 , y el valor del análisis microbiológico son (L) hongos 50 y levaduras 140UFC/g-mL, (VR) hongos<10 y levaduras<10UFC/g-mL y convectivo hongos <10 y levaduras <10UFC/g-mL, los resultados obtenidos por el análisis de varianza ANOVA que se obtuvieron muestra que el proceso de VR es un método eficiente para conservar dichas propiedades nutricionales del pasaboca deshidratado de banano.

Palabras claves: Liofilización, Ventana de refractancia, Convección forzada, Pasaboca.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus más sinceros agradecimientos a:

Dios en su Inmensa Misericordia por permitirme alcanzar mis metas y objetivos.

A mis padres por su apoyo incondicional.

La profesora Beatriz Guevara por su tiempo, dedicación y compromiso como tutora y guía en el proceso de mi formación de ingeniero.

La Universidad Nacional Abierta y a Distancia, en especial a la Escuela de Ingeniería de Alimentos por la formación dada.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	1
2.1 Objetivo General	1
2.2 Objetivos Específicos	1
3. MARCO TEÓRICO	3
3.1. Producción de banano en el mundo	3
3.2. Producción de banano en Colombia.....	4
3.3. Deshidratación osmótica	5
3.4. Proceso de secado por liofilización.....	6
3.5. Proceso de secado de la ventana de refractancia (VR)	7
3.6. Proceso de secado por aire caliente o convectivo	8
4. MATERIALES Y METODOLOGÍA	10
4.1 Localización	10
4.2 Materias primas.....	10
4.3 Equipos.....	10
4.4 Planes experimentales.....	11
4.4.1 Selección y acondicionamiento de materia prima	11
4.4.2 Caracterización fisicoquímica de las materias primas.....	11
4.4.3 Pretratamiento de secado de las frutas (Osmodeshidratación).....	12
4.4.4 Tecnologías de secado.....	12
4.4.5 Caracterizaciones fisicoquímicas y funcionales de la fruta seca	12
4.5 Diseño experimental	13
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
5.1 Caracterización Materia prima Banano Fresco.....	14
5.1.1 Selección de la materia prima	14
5.1.2 Análisis químicos de materia prima	14
5.1.3 Textura de fruta fresca.....	15

5.2 Resultado de capacidad antioxidante (Método ORAC)	16
5.3 Ficha técnica de la materia prima	17
5.4 Proceso de Banano Osmodeshidratado	18
5.5 Textura de fruta osmodeshidratada	25
5.6 Proceso banano secado por liofilización	25
5.7 Proceso de Banano secado por ventana de refractancia.	25
5.8 Proceso Convectivo.....	27
5.9 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las tecnologías de secado (Liofilizado, Ventana de refractancia y Convección forzada en las propiedades fisicoquímicas del banano (<i>Cavendish Valery</i>).....	28
6. CONCLUSIONES	32
7. BIBLIOGRAFÍA	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Producción de banano en el mundo. (Soto, 2011).....	4
Figura 2. Producción de banano en Colombia (AUGURA, 2017).....	5
Figura 3. Flujo de solutos y de agua en el producto alimenticio inmerso en la solución hipertónica. (Della, 2010).	6
Figura 4. Etapas del proceso de liofilización (Barbosa y Vega, 2000).....	7
Figura 5. Esquema del equipo convencional del secador VR (Ortiz, 2014).....	8
Figura 6. Arreglo típico de un secador de bandeja (Barbosa y Vega, 2000)	9
Figura 7. Proceso de Experimentación	11
Figura 8. Grado de maduración del banano.....	11
Figura 9. Textuómetro Shidmazu EZ – test	13
Figura 10. Selección de materia prima por color de epidermis del banano	14
Figura 11. Programación textuómetro	15
Figura 12. Prueba de compresión de banano fresco.....	16
Figura 13. Fluorómetro, equipo para determinación.....	17
Figura 14. Bananos utilizados	19
Figura 15. a) Corte en el rallador b) Medida de espesor con el pie de rey	19
Figura 16. Bananos inmersos en la solución al 1% de ácido ascórbico.....	20
Figura 17. a) Banano sin solución b) Banano con solución.....	20
Figura 18. Jarabes de osmodeshidratación	21
Figura 19. Jarabes de osmodeshidratación	23
Figura 20. Relación pérdida de agua a ganancia de solutos en función del tiempo para diferentes concentraciones de jarabes en la solución.....	23

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Grado de maduración y análisis nutricionales del banano.	15
Tabla 2. Composición porcentual y real de los jarabes de osmodeshidratación en banano.	21
Tabla 3. Caracterización de los jarabes	22
Tabla 4. Resultados de osmodeshidratación con los diferentes jarabes en muestra de banano	23
Tabla 5. Condiciones del jarabe para la osmodeshidratación definitiva	24
Tabla 6. Resultados obtenidos para el banano tratado con diferentes métodos de secado.	28

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. ANOVA FIBRA	35
ANEXO 2. ANOVA VITAMINA A	37
ANEXO 3. ANOVA VITAMINA C	39
ANEXO 4. ANOVA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE	41
ANEXO 5. ANOVA FUERZA MÁXIMA	43

1. INTRODUCCIÓN

El secado es una de las operaciones más utilizadas en la industria alimentaria para modificación y preservación, se extrae agua del alimento hasta cierto nivel, donde es minimizado el deterioro microbiano y las reacciones de deterioro químico (Krokida et al, 2002). Se proporciona una mayor vida útil, un peso más ligero para el transporte y menor espacio para su almacenamiento, es un proceso que requiere energía intensivamente y la calidad del producto puede ser degradada durante la operación. Los principales parámetros de calidad evaluados en frutas y vegetales deshidratados son color, sabor, carga microbiana, retención de nutrientes, densidad, textura, propiedades de rehidratación, actividad de agua, presencia de contaminantes, pérdida de aromas y temperatura de transición vítrea (Sagar y Suresh, 2010).

En el estudio “Evaluación de tecnologías de secado en las propiedades fisicoquímicas del banano (*Cavendish Valery*)”, se plantea un trabajo experimental de viabilidad del pretratamiento de osmodeshidratación y la aplicación de las diferentes tecnologías de secados (liofilización, ventana de refractancia, y convección forzada) para la elaboración de banano deshidratado tipo pasaboca con bajo contenido calórico, alto valor nutricional y características organolépticas aceptable por el consumidor.

La idea fundamental para este trabajo es obtener condiciones de operación en la tecnología de secado donde el banano deshidratado tipo pasaboca presenta el mayor contenido de nutrientes (fibra, capacidad antioxidante, vitaminas A y C), optima característica física (fuerza máxima de fractura) y microbiológicamente aceptable, con el fin que esta sea un inicio para el desarrollo de nuevos productos en el clúster macrosnacks de la región del Valle del Cauca.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Evaluar las tecnologías de secado por liofilización, ventana de refractancia, y convección forzada en función de las propiedades fisicoquímicas del banano (*Cavendish Valery*).

2.2 Objetivos Específicos

- Establecer la viabilidad del proceso osmodeshidratación como pretratamiento de secado del banano.
- Analizar los cambios de humedad, vitamina A y C, fibra dietaría y capacidad antioxidante del banano procesado en cada uno de las tecnologías de secado.
- Determinar la textura (fuerza de máxima de fractura) del banano inicial y al final de cada uno de los procesos de secado.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Producción de banano en el mundo

El banano es una fruta tropical con grandes propiedades nutritivas que aportan una buena cantidad de carbohidratos, potasio, magnesio, ácido fólico y fibras. Para su cultivo es necesario que el suelo y el clima tengan ciertas condiciones; el clima ideal es tropical húmedo y debe tener una temperatura alrededor de los 18 °C para que su crecimiento no se vea impactado. Es considerado una fruta dulce que se come cruda, aunque como es consumida a nivel mundial en muchos países se come el banano frito, asado, seco, en jugo o en hojuelas, también se elaboran bebidas alcohólicas o harinas. Esta fruta es el cuarto producto alimenticio de primera necesidad en el mundo, especialmente en África, el Caribe, Centro y Sur América y el sudeste asiático, es rico en carbohidratos y contiene poca grasa, además ayuda a proveer vitaminas esenciales como la vitamina C, B6, B1, B2 y contiene grandes cantidades de potasio y magnesio. Entre las propiedades del banano están que este ayuda a neutralizar, disolver y eliminar los ácidos retenidos en el cuerpo, como por ejemplo el ácido úrico, fosfórico, sulfúrico, que dan origen a las llamadas enfermedades artríticas y reumáticas, gota, ciática, úlceras, arenillas, cálculos en los riñones, etc. (Rodríguez y Rojas., 2015).

Las producciones mundiales se agrupan en cuatro tipos genéticos: Cavendish (AAA), otros plátanos de cocinar o para hacer bebidas (AAB, ABB, AAA, etc.), plátano (AAB), y otros bananos de postre (Gross Michel, Manzanos, Dátiles, Oritos, etc.) AAA, AA, AAB). (Pino, et al., 2018).

EL Sub Grupo "Cavendish", se produce en mayor cantidad en América Latina y el Caribe, seguido de Asia (Filipinas), África (Camerún y Costa de Marfil), y Europa (Islas Canarias). El país de mayor producción de banano del mundo, es India con un 19%; seguido de Brasil con 15%, y de Ecuador, con 12%. China produce un 10%, u y otros países como Colombia, Costa Rica, Filipinas y México, producen

entre 6 y 4%, seguido de un grupo grande de países, que con menos del 3% individual, producen un 36% del total. (Soto, 2011).

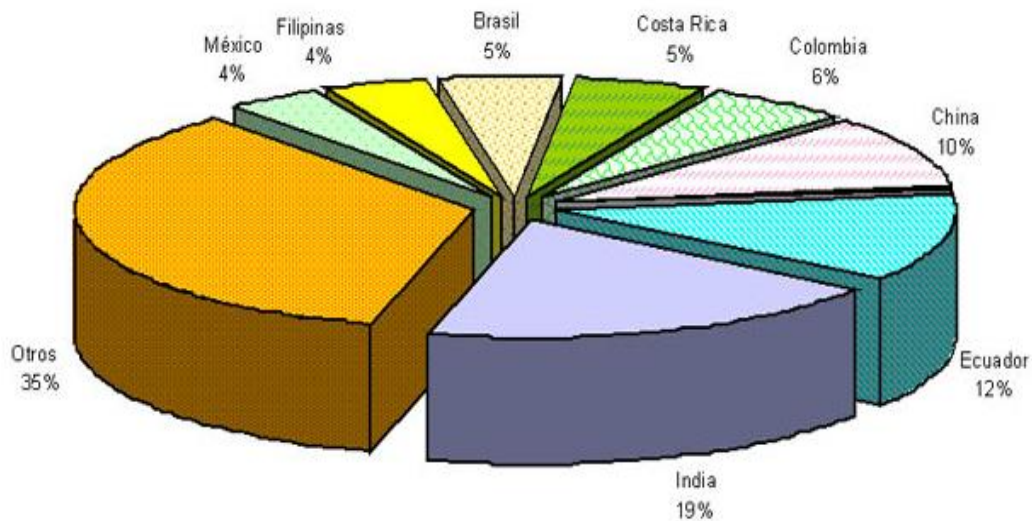


Figura 1. Producción de banano en el mundo. (Soto, 2011).

Colombia, el quinto exportador mundial de banano, alcanzó una producción de 98,4 millones de cajas de 20 kilos de la fruta en el 2017, un 6% por encima de la del año previo y la mejor desde el 2008, impulsada principalmente por la ausencia de conflictos laborales. (AUGURA, 2017).

3.2. Producción de banano en Colombia

En Colombia, el banano ha sido una de las frutas comercializadas con gran éxito junto con el café, caña de azúcar, flores y palma africana; es un producto esencial para el desarrollo económico y social de nuestro país, genera empleo y divisas. Con un área cosechada de 80.518 Hectáreas y una producción promedio de dos millones de toneladas al año, Colombia es el quinto país productor de banano a nivel mundial. Aunque pueden obtenerse diferentes productos procesados, el mercado del banano es esencialmente para consumo en fresco, ya que tiene una corta vida de anaquel por su alto contenido de agua (aproximadamente 76%) y los cambios fisicoquímicos, reacciones químicas, enzimáticas, microbiológicas que

causan deterioro. Así mismo, debido a su alto grado de consumo, sus propiedades organolépticas y su valor nutricional, representa una materia prima interesante para ser procesada, buscando de esta forma disminuir las causas de deterioro y corta vida útil y ofreciendo otras formas de consumo y diversificación de productos. (Rodríguez et al., 2013).

La productividad promedio en este año fue de 1996 cajas por hectárea, superior en 20 cajas por hectárea año frente al 2016 cuando se ubicó en 1976 cajas por hectárea. Este incremento se debió básicamente al mayor número de cajas producidas en el Magdalena, región que tuvo un comportamiento climático más estable y apto para el cultivo que la región de Urabá. (AUGURA, 2017).

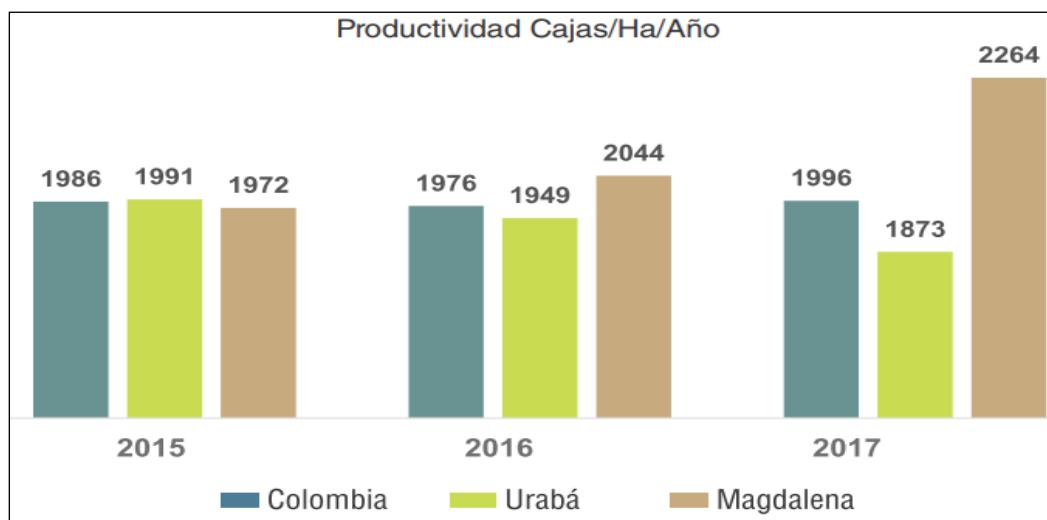


Figura 2. Producción de banano en Colombia (AUGURA, 2017)

3.3. Deshidratación osmótica

La deshidratación osmótica es una tecnología de conservación que reduce las pérdidas poscosecha de la fruta y proporciona una opción para transformarla, este método de conservación se considera como gran alternativa por su bajo costo ya que es un proceso no térmico; esta es una técnica de remoción de agua, en la cual se sumergen materias primas en una solución hipertónica compuesta por solutos capaces de generar altas presiones. Con la deshidratación osmótica (DO) se consigue conservar la calidad y estabilidad de los productos hortofrutícolas, al reducir el contenido de humedad (hasta 50-60% en base húmeda) e incrementar

el contenido de sólidos solubles. El tratamiento osmótico es una técnica de deshidratación utilizada generalmente en frutas y verduras; este tratamiento genera una reducción en la actividad de agua de los alimentos, y por lo tanto, permite el almacenamiento durante períodos de tiempo más largos, a la vez que mejora la estabilidad y la calidad de los productos. (Rodríguez et al., 2013).

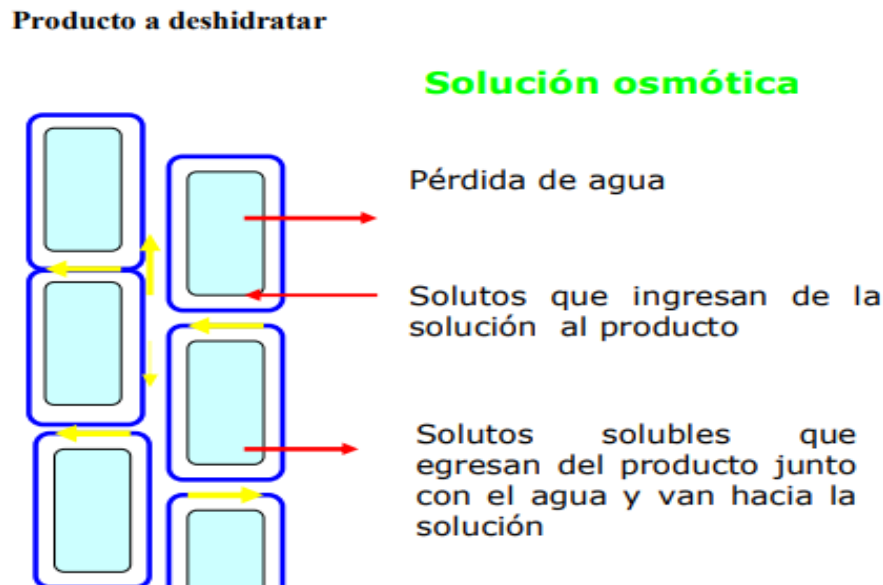


Figura 3. Flujo de solutos y de agua en el producto alimenticio inmerso en la solución hipertónica. (Della, 2010).

3.4. Proceso de secado por liofilización

Una alternativa a los métodos clásicos de conservación es la liofilización. Esta tecnología se basa en la deshidratación bajo ultra vacío, de un material previamente congelado, mediante la sublimación del hielo. Se realiza manteniéndose los productos a una temperatura inferior a 0°C y bajo una presión inferior a 4,57 mmHg. La liofilización de productos biológicos es el mejor método para la remoción del agua a fin de obtener productos de la más alta calidad comparada con otros tratamientos de deshidratación. La liofilización es un proceso por el cual el producto se congela primero y luego el hielo de la congelación es eliminado por sublimación, por lo general en condiciones de baja presión y

temperatura. La sublimación deja lugar a una capa porosa seca que se retira continuamente durante el proceso. Es un proceso de conservación mediante sublimación utilizado con el fin de reducir las pérdidas de los componentes volátiles o termo-sensibles. En este proceso de secado los productos obtenidos no se ven alterados en sus propiedades y se rehidratan fácilmente.

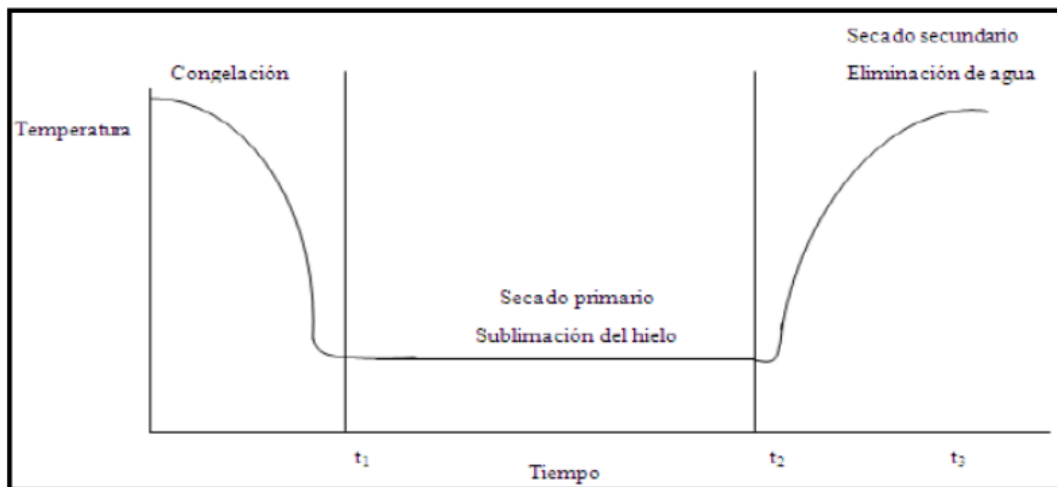


Figura 4. Etapas del proceso de liofilización (Barbosa y Vega, 2000)

La conservación de rodajas de banana presenta algunas dificultades, debido a que toma color cobrizo rápidamente como consecuencia de la acción enzimática. Como alternativa al consumo en fresco existen procesos a los cuales puede someterse, y así de esta manera permitir que durante todo el año se disponga de frutas, siempre buscando mantener óptima la calidad nutricional y sensorial. La liofilización, es una alternativa de interés como método de conservación de alimentos, la cual permite prolongar el tiempo de vida útil manteniendo significativamente las propiedades físicas y fisicoquímicas relacionadas con su calidad. (Pino et al., 2018).

3.5. Proceso de secado de la ventana de refractancia (VR)

El secado con ventana de refractancia (VR) hace uso de la energía infrarroja del agua, de esta forma los tiempos de proceso se reducen y se alcanzan bajas temperaturas en el producto, reduciendo el daño térmico del producto seco. Esta

técnica no permite que el producto alcance temperaturas altas, para evitar sabor a quemado y oxidación del producto, además no genera subproductos ni emisiones que contaminen el ambiente y contribuye al ahorro energético debido a su alta velocidad de secado. De forma adicional permite la deshidratación de líquidos y de sólidos, así como de componentes termolábiles con actividad vitamínica y antioxidante conservada luego del secado. Por estas razones, el secado con ventana de refractancia se ha convertido en una técnica innovadora que permite la deshidratación de alimentos termosensibles como las frutas y presenta la ventaja de reducir las pérdidas de calidad a nivel fisicoquímico y estructural en diversidad de alimentos deshidratados. Incluso el secado con VR ha sido comparado con la liofilización con excelentes resultados, en cuanto a la calidad lograda en el producto final. (Ormanza et al., 2016).

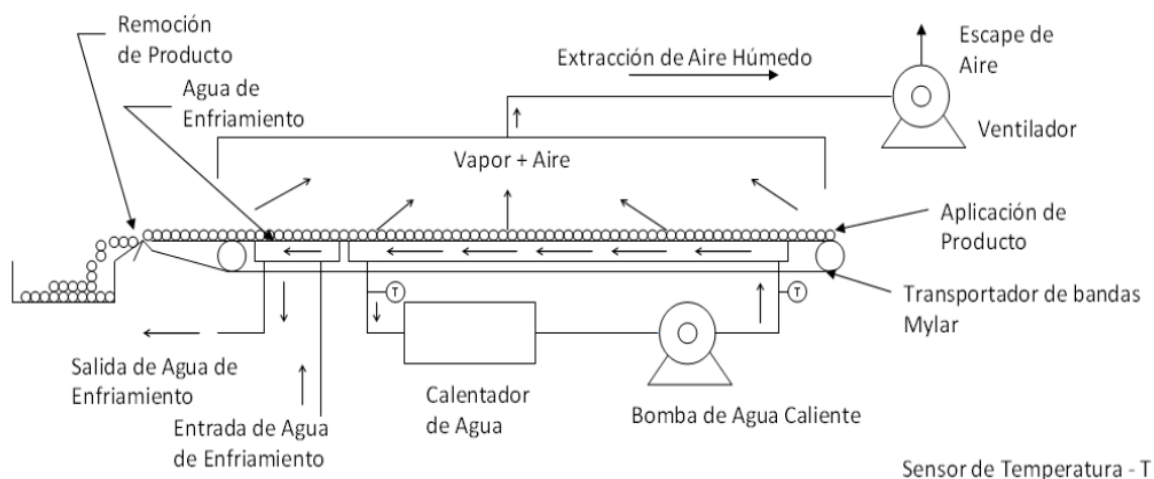


Figura 5. Esquema del equipo convencional del secador VR (Ortiz, 2014)

3.6. Proceso de secado por aire caliente o convectivo

El secado por aire caliente o convectivo es uno de los métodos más utilizados industrialmente para la conservación de frutas debido a sus bajos costos y tecnología simple. Usualmente se utilizan temperaturas mayores a 60°C durante largos tiempos de operación, lo que genera altos costos asociados a la disminución de la calidad comercial del producto final (alteraciones en la forma y la textura del producto; composición y estructura no uniforme, cambios de sabor y

aroma, modificación del color, degradación de componentes nutricionales, mala capacidad de rehidratación, etc.). (Orrego et al., 2016).

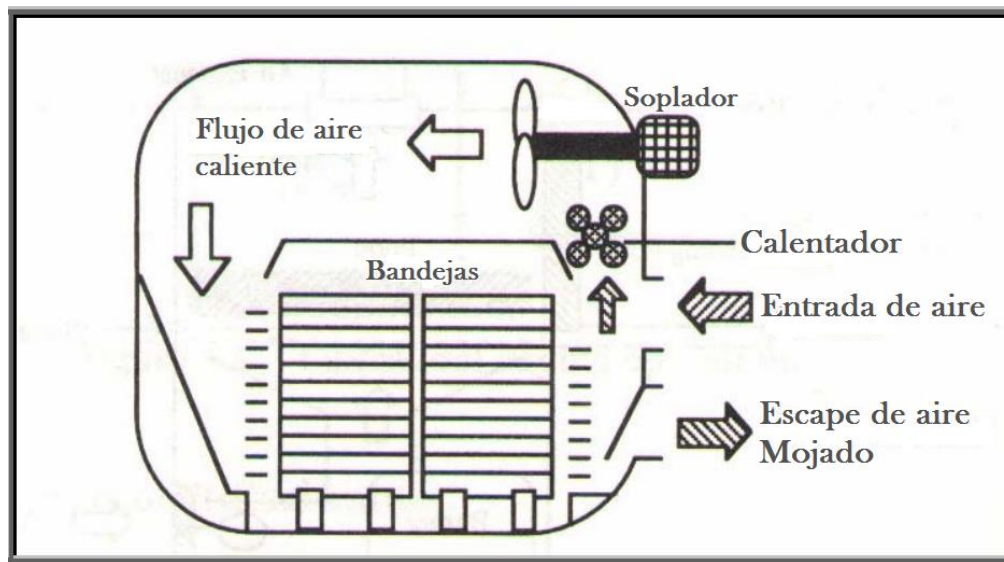


Figura 6. Arreglo típico de un secador de bandeja (Barbosa y Vega, 2000)

Para el presente proyecto es necesario evaluar las diferentes tecnologías de secado anteriormente nombradas en función de características nutricionales y físicas del banano deshidratado.

4. MATERIALES Y METODOLOGÍA

4.1 Localización

La fase experimental para el acondicionamiento de la materia prima se llevó a cabo en las instalaciones de la empresa Productos de la provincia (Cali). Los procesos de liofilización y convección forzada se realizaron en una empresa vallecaucana. En el laboratorio de fenómenos de transporte de la Universidad del Valle se llevaron a cabo el secado por ventana de refractancia. Las pruebas de textura del producto se efectuaron en el Laboratorio de Propiedades Físicas y Fenómenos de Transferencia ubicados en la Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, Santiago de Cali - Colombia. Los parámetros nutricionales de los productos durante las etapas experimentales se realizaron en los laboratorios agroindustrial del centro agropecuario de Buga del SENA, Angel Bioindustrial, Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) y tecnimicro.

4.2 Materias primas

El banano se obtuvo del supermercado local, ubicado en el Valle del Cauca, los jarabes utilizados durante la experimentación del proceso de osmodeshidratación fueron suministrados por la empresa Ingredion e IPF.

4.3 Equipos

Se realizaron los ensayos en los siguientes equipos: marmitas (proceso de osmodeshidratación), liofilizador, ventana de refractancia, y secador por convección forzada. La utilización de los anteriores equipos se efectuó a partir de servicios técnicos a excepción de las marmitas que se encuentra en la planta de producción de Productos de la provincia.

4.4 Planes experimentales

En la siguiente figura se describe el proceso de experimentación.

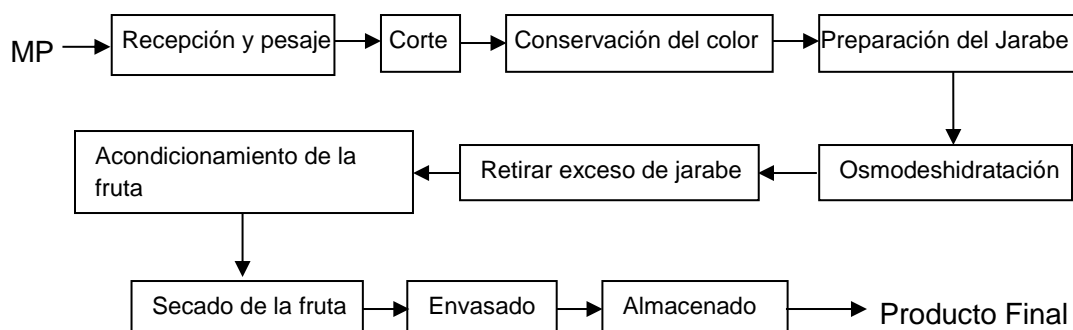


Figura 7. Proceso de Experimentación

4.4.1 Selección y acondicionamiento de materia prima

El banano se seleccionó a partir de la tabla de índice de maduración, para este estudio se tomaron dos grados diferentes para observar el comportamiento del fruto en la etapa de osmodeshidratación.

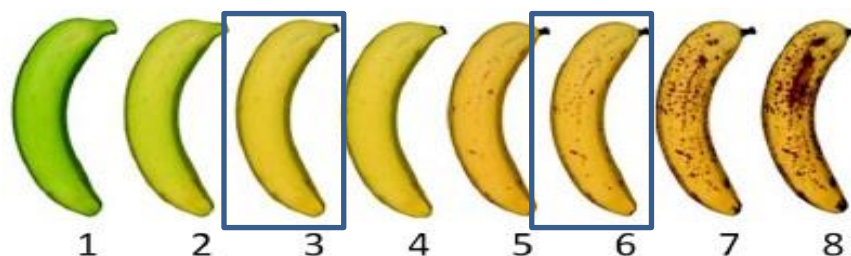


Figura 8. Grado de maduración del banano

4.4.2 Caracterización fisicoquímica de las materias primas

El banano sin procesar se caracterizó en los siguientes parámetros: contenido de humedad (método secado por estufa), ceniza % (método AOAC 923.03), proteína total % (basado en ISO 1871), fibra dietaria total % (basado en AOAC 985.29) capacidad antioxidante (método ORAC) y vitaminas A y C (UHPLC), a partir de los resultados se desarrolló la ficha técnica de recepción de la fruta fresca en planta.

4.4.3 Pretratamiento de secado de las frutas (Osmodeshidratación)

Se sometió el banano a un proceso de inmersión durante 3 horas en diferentes jarabes de bajas calorías (mezcla de polialcoholes). Posteriormente se retiró el exceso del jarabe en las frutas por medio de una toalla absorbente y se empacaron en bolsas de cierre hermético a temperaturas de refrigeración hasta que se retiraron para los ensayos de secado.

4.4.4 Tecnologías de secado

A partir de los resultados obtenidos en el proceso de osmodeshidratación se estudió la posibilidad de viabilidad del pretratamiento en el banano, posteriormente las muestras fueron sometidas a cada una de los métodos de secado: Liofilización, Ventana de refractancia y Método convección forzada.

4.4.5 Caracterizaciones fisicoquímicas y funcionales de la fruta seca

Se determinaron las cantidades de humedad (método secado por estufa), vitaminas A y C (UHPLC), capacidad antioxidante (método ORAC) para cada una de las muestras sometidas a los diferentes procesos de secado, de forma adicional se realizaron la identificación del contenido de fibra dietaría (método digestión enzimática), estos análisis se llevaron a cabo en el laboratorio agroindustrial del centro agropecuario de Buga del SENA y el laboratorio Ángel bioindustrial (Cali - Valle del Cauca), basados en los métodos estándar AOAC.

La caracterización física de la fruta seca se realizó a partir de un perfil de textura en el equipo Shidmazu EZ - test en el Laboratorio de Propiedades Físicas y Fenómenos de Transferencia ubicados en la Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, Santiago de Cali – Colombia.



Figura 9. Texturometro Shidmazu EZ – test

4.5 Diseño experimental

Se realizó un análisis estadístico a partir del diseño experimental unifactorial, completamente al azar (DCA), donde el factor de estudio fue el método de secado y las variables de respuesta se hicieron por triplicado de fibra, vitaminas, capacidad antioxidante y fuerza de fractura. Los resultados se obtuvieron a partir del programa Minitab 18 Con un nivel de confianza del 95 %.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Caracterización Materia prima Banano Fresco

5.1.1 Selección de la materia prima

En el proceso previo a las tecnologías de secado, es decir la osmodeshidratación uno de los parámetros más relevantes es el grado de maduración de la fruta ya que está ligado directamente con la textura de la pulpa. Por consiguiente, a partir de la tabla de maduración de epidermis del banano se tomó dos grados de maduración (3 y 6) para observar su comportamiento.



Figura 10. Selección de materia prima por color de epidermis del banano

5.1.2 Análisis químicos de materia prima

Los °Brix y pH se midieron en las instalaciones de la empresa de productos de la Provincia con el refractómetro y las cintas de pH respectivamente. De forma adicional se envió muestras de la fruta fresca al laboratorio de investigaciones agroindustriales del SENA de Buga en el cual se realizaron los siguientes análisis: humedad % (método secado por estufa) y ceniza % (método AOAC 923.03), proteína total % (basado en ISO 1871), fibra dietaria total % (basado en AOAC 985.29), la determinación del contenido de vitamina A (método IN –GS-3.060 V9

2016 -08-02) y C (método IN-GS-3.168 V9 2017-09-01) se realizó en el laboratorio de tecnimicro (Medellín).

Tabla 1. Grado de maduración y análisis nutricionales del banano.

Parámetros	Resultado
° Maduración	3
°Brix	23
pH	5
Humedad (%)	60,78
Ceniza (%)	0,78
Proteína (%)	1,17
Fibra Dietaría (%)	21,05
Vitamina A (UI/100g)	< 20 ¹
Vitamina C (mg/100g)	1,86

¹ El cromatógrafo del laboratorio detecta datos superiores a 21 UI/100g

5.1.3 Textura de fruta fresca

Como parte de la caracterización del banano fresco se identificó la fuerza de fractura máxima (medida de textura) del centro y los extremos del fruto, para asegurar exactitud de la medición se utilizó el texturometro Shimadzu, esto con el fin de correlacionar los efectos de textura y crocancia que se tienen entre la materia prima (sin procesar) y posteriormente en la fruta seca.

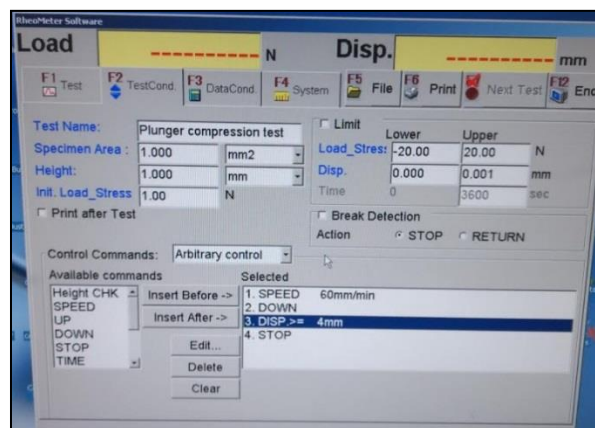


Figura 11. Programación texturometro

El texturometro se programó a una prueba de compresión, velocidad 60 mm/min, distancia de penetración la mitad del espesor de la fruta (entre 6 a 7 mm).



Figura 12. Prueba de compresión de banano fresco

El promedio de la fuerza máxima de fractura tomada de 10 medidas fue $9,09 \text{ N} \pm 2,3$

5.2 Resultado de capacidad antioxidante (Método ORAC)

A partir de la revisión bibliográfica se obtuvo que el método utilizado con mayor precisión para determinar la capacidad antioxidante en frutas es el ORAC (Capacidad de Absorción de Radicales de Oxígeno), la cual se realizó por triplicado en cada una de las muestras estudiadas, en las instalaciones del laboratorio calidad de productos naturales ubicado en la universidad tecnológica de Pereira (UTP).



Figura 13. Fluorómetro, equipo para determinación

Los resultados obtenidos de las muestras en fresco fueron 1008,67 μ moles eq. Trolox/g muestra $\pm 33,82$

5.3 Ficha técnica de la materia prima

Para un proceso de estandarización del proceso se construyó la ficha técnica del banano para proceso de recepción de materia prima en la empresa. A partir del trabajo experimental se definió el grado de maduración 3 óptimo para el estudio.

FICHA TÉCNICA - BANANO	
<u>Nombre:</u>	Banano fresco
	
<u>Grado de Maduración:</u>	3 de la tabla de maduración de la epidermis del banano
<u>Condiciones de recibo de la fruta</u>	La materia prima (frutas) es inspeccionada por control de calidad para su aceptación o rechazo, se aceptan los frutos en su estado de madurez óptimo,

sanos, de aspecto fresco y consistencia firme, libres de ataques de insectos y enfermedades que demeriten la calidad interna del fruto, libres de humedad externa anormal y de cualquier olor y/o sabor extraño. Luego pasan a Producción para la limpieza y desinfección de los frutos. El incumplimiento de uno de los aspectos anteriores puede ser causa de devolución de la materia prima.
<u>Características Fisicoquímicas</u> Sólidos solubles expresados como °Brix: 23 -26 pH: 5 -6 Humedad (%): 60 – 65
<u>Características Organolépticas</u> Aroma: suave y característico del banano de bajo grado de maduración. Color: amarillo predominante con algunas zonas levemente verdes y manchas oscuras característico del banano Sabor: característico e intenso del banano, bajo en azúcar. Libre de cualquier sabor extraño y del llamado sabor “manchoso”. Apariencia: uniforme, libre de materiales extraños. Textura: firme
<u>Vida útil</u> 3 días en condiciones de refrigeración (4°C), sin interrupción de la cadena de frío.
<u>Identificación: Lote – Trazabilidad</u> El lote se identifica con la fecha de vencimiento así: Día (números) Mes (letras) Año (números). El lote es un código asignado por Producto de la Provincia de tal manera que se garantiza su trazabilidad.

5.4 Proceso de Banano Osmodeshidratado

Recepción y pesaje: se seleccionó la materia prima bajo el criterio del color de la cáscara del fruto (que presento más color verde, pintón), en este punto es importante mencionar que el grado de maduración de la fruta fue más del deseado, de todas formas, se realizaron los ensayos correspondientes, para identificar comportamientos de sabor y textura. Posteriormente se retiró las cáscaras del fruto, con los datos de los pesajes del banano entero y residuos se obtuvo un porcentaje de pulpa de 89%.



Figura 14. Bananos utilizados

Corte: en esta etapa se enfocó en establecer una geometría fija del banano en el proceso de osmodeshidratación, inicialmente se realizó el corte por medio de un rallador para obtener la forma de láminas, pero experimentalmente no funcionó ya que el espesor obtenido fue de aproximadamente de 2 a 3 mm y conjuntamente con la textura blanda del banano se deformaban rápidamente, por consiguiente se optó por realizar el corte de forma manual con un cuchillo de cocina con el cual se presentó un rango de espesor en las láminas de 7 – 10 mm.

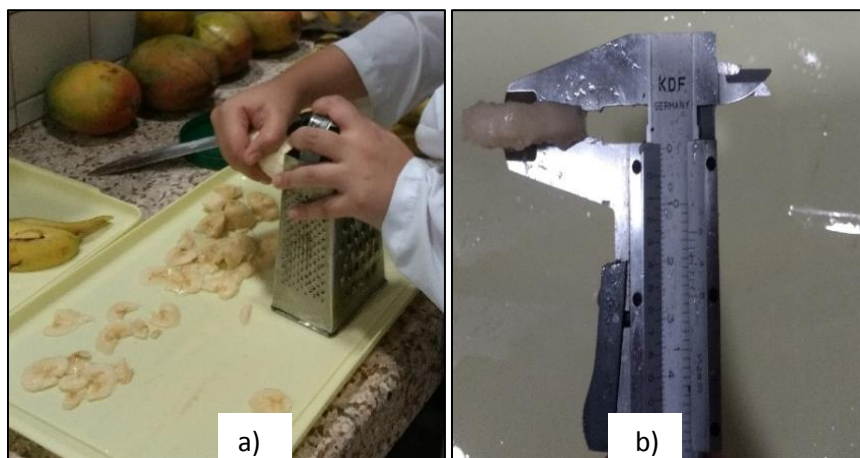


Figura 15. a) Corte en el rallador b) Medida de espesor con el pie de rey

Conservación del color: inmediatamente obtenidos las láminas de banano, se sumergieron durante 5 minutos en una solución al 1% de ácido ascórbico, al final

de este tiempo se observó un excesivo ablandamiento de la fruta, un segundo ensayo fue la inmersión de las rodajas en la solución durante 30 segundos el cual se determinó como el tiempo suficiente para evitar el pardeamiento enzimático en el banano.



Figura 16. Bananos inmersos en la solución al 1% de ácido ascórbico



a)

b)

Figura 17. a) Banano sin solución b) Banano con solución

Preparación de jarabes: se prepararon tres tipos de soluciones, con características diferentes en su peso molecular, organolépticas y nutricionales. A

partir de los resultados de las pruebas experimentales previas se tomó la decisión disminuir el porcentaje total en los ácidos (cítrico y ascórbico)

Tabla 2. Composición porcentual y real de los jarabes de osmodeshidratación en banano.

Solución 1	Alulosa/Maltitol	Agua	Ácido cítrico	Ácido Ascórbico
Porcentaje (%)	25/25	49	0.5	0,5
Cantidad real (base 1000 g)	250/250	490	5	5
Solución 2	Polidextrosa/Maltitol	Agua	Ácido cítrico	Ácido Ascórbico
Porcentaje (%)	25/25	49	0.5	0,5
Cantidad real (base 1000 g)	250/250	490	5	5
Solución 3	Polid/Malti/alulo	Agua	Ácido cítrico	Ácido Ascórbico
Porcentaje (%)	16,7/16,7/16,7	49	0.5	0,5
Cantidad real (base 1000 g)	167/167/167	490	5	5

Se realizó una caracterización inicial a los tres jarabes, pH, °Brix, densidad y % acidez.

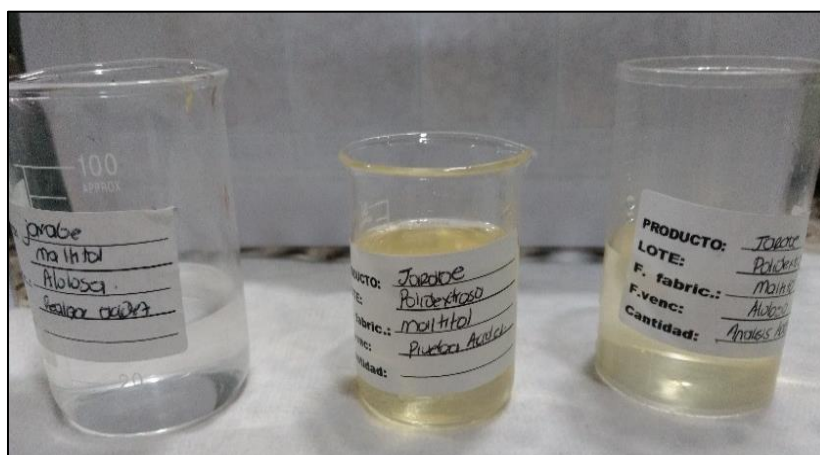


Figura 18. Jarabes de osmodeshidratación

Tabla 3. Caracterización de los jarabes

Jarabe	pH	°Brix	Densidad (g/cm ³)	% Acidez
Solución 1	3	42.00	1.24 +/-0,02	8,70+/-0,03
Solución 2	3	43.50	1.26 +/-0,0	9,40 +/-0,03
Solución 3	3	44.00	1.27 +/-0,0	8,70 +/-0,00

$$\% \text{ Acidez} = \frac{(\text{Volumen gastado de NaOH}) \cdot (\text{Concentración NaOH}) \cdot (0.064)}{\text{Peso de muestra}} \times 100 \quad (\text{Ec } 1)$$

Concentración NaOH = 0.1N

Peso de muestra = 10 g

Si se analiza la densidad de los jarabes en comparación con la del agua (1g/cm³) es notorio que las soluciones son levemente más viscosas, este fenómeno puede atribuirse al carácter viscoso del maltitol y adicionalmente a la estructura de gel que forma la povidexrosa en contacto con el agua.

Proceso de osmodeshidratación del banano: en la osmodeshidratación del banano se utilizó una proporción de jarabe y muestra de 3:1 (1000 g de jarabe / 333 g de fruta). Para el control de la temperatura del jarabe en el recipiente se aplicó la técnica de baño maría en una marmita, el rango de la temperatura del proceso estuvo en 40 - 55 °C.

Para examinar la pérdida de peso de la fruta durante el proceso de osmodeshidratación en un tiempo de 3 horas, se tomaron los pesos iniciales de 3 láminas de banano, las cuales se pesaron a los tiempos de una, dos y tres horas de inmersión, de forma adicional se tomaron muestras en cada uno de los tiempos para determinar los °Brix. Las láminas de banano presentaron un excesivo ablandamiento y al final del proceso al secar las láminas se desbarataron completamente.



Figura 19. Jarabes de osmodeshidratación

Tabla 4. Resultados de osmodeshidratación con los diferentes jarabes en muestra de banano

Tiempo de inmersión (h)	Alulosa/Maltitol Pérdida de peso (g)	° Brix	Polid/Malti/alu Pérdida de peso (g)	° Brix	Polidextrosa/Maltitol* Pérdida de peso (g)	° Brix
0	-	20	-	20	-	6
1	0,24	31	0,16	22	0,08	18
2	0,29	32	0,20	25	0,18	24
3	0,30	37	0,33	27	0,25	26

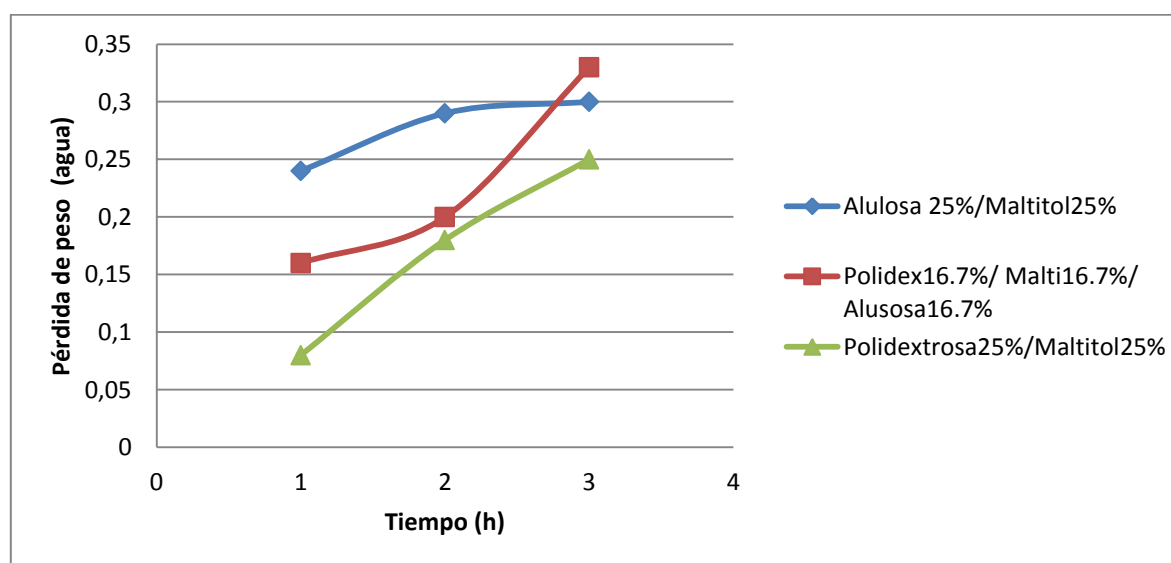


Figura 20. Relación perdida de agua en función del tiempo para diferentes concentraciones de jarabes en la solución.





El tiempo óptimo de tratamiento osmótico de la muestra de banano en las soluciones de los jarabes se determinó para la concentración usada (3:1). En cada experiencia, se sumergieron rodajas de banano de diferentes masas y se pesaron a intervalos regulares entre los 0 a 180 min. A cada hora las muestras se extrajeron, se secaron con una toalla de papel, se pesaron, y se regresaron a la solución para continuar el proceso.

A partir de los resultados obtenidos se observó que la pérdida de peso de las rodajas de banano aumentó en función del tiempo de tratamiento osmótico. Como se observa en la tabla 4 la mezcla de polidextrosa, maltitol y Alulosa fue la de mejor comportamiento, mayor pérdida de peso y por lo tanto de agua.

A partir de los datos anteriores se definió las condiciones de osmodeshidratación

Tabla 5. Condiciones del jarabe para la osmodeshidratación definitiva

Fruta	Jarabe	Tiempo de osmosis	Observación
Banano	Polid/Malti/alu	1 hora	Grado de maduración 3 Variedad de la fruta: <i>Banano Cavendish Valery</i>

FRUTA	ETAPA			
	Limpieza	Acondicionamiento	Corte	Osmosis
BANANO				

5.5 Textura de fruta osmodeshidratada

El banano producto del proceso de osmodeshidratación presentó una textura blanda y de difícil manipulación, se realizaron pruebas en el texturometro pero no fue detectable su medición, este fenómeno es atribuible a la celda fija del equipo, posiblemente con una celda de mayor sensibilidad se podría obtener un resultado.

5.6 Proceso banano secado por liofilización

Las muestras de banano se acondicionaron, se cortaron en láminas e inmediatamente fueron sometidas al método de liofilización. Se utilizó el equipo industrial de la empresa Zero Colombia ubicada en la ciudad de Cali, valle del Cauca que emplea parámetros de -40°C y un nivel de vacío de 130 micrones de hg. El proceso tuvo una duración de 24 horas.

5.7 Proceso de Banano secado por ventana de refractancia.

Reconocimiento de mecanismo de secado de la ventana de refractancia.



Figura 21. Reconocimiento equipo de ventana de refractancia.

A partir de revisión bibliográfica y pruebas preliminares en el equipo de ventana de refractancia se estableció una temperatura constante de secado de 90 °C del medio conductor (agua), durante un tiempo de 4 horas.

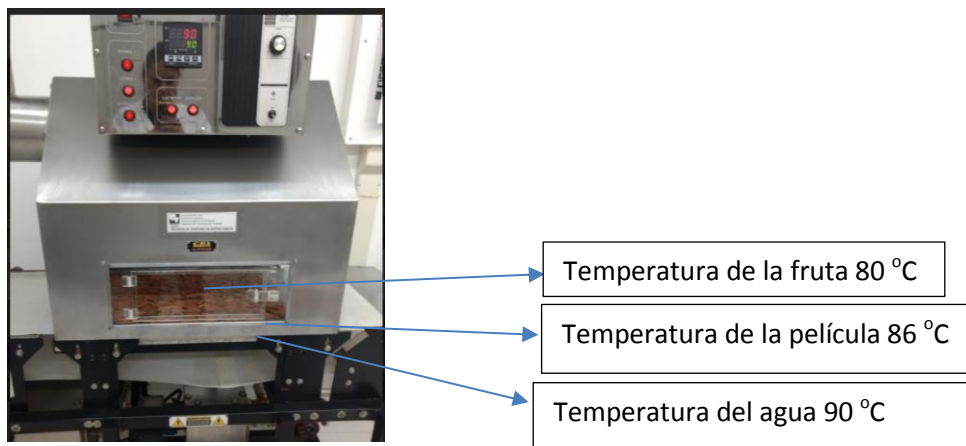


Figura 22. Control de temperaturas del proceso

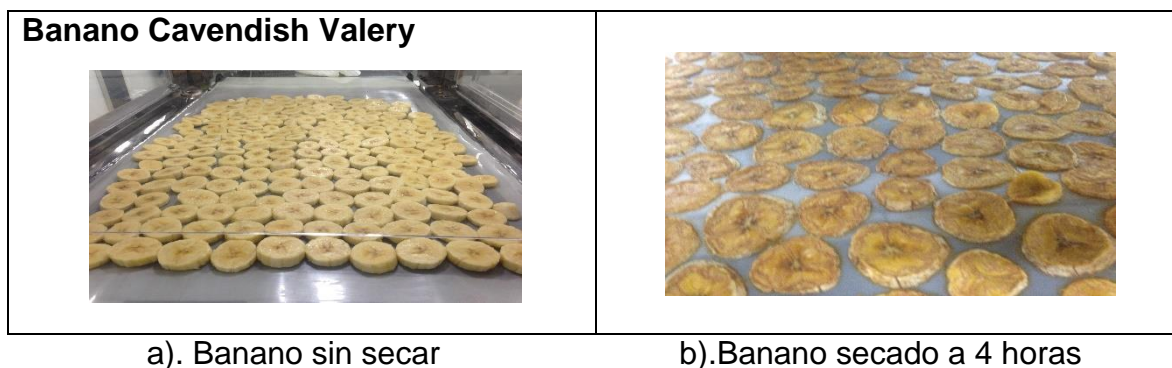


Figura 23. Proceso de secado de ventana de refractancia

Para el banano se realizó la correspondiente curva de secado para identificar el comportamiento y la velocidad de pérdida del contenido de humedad.

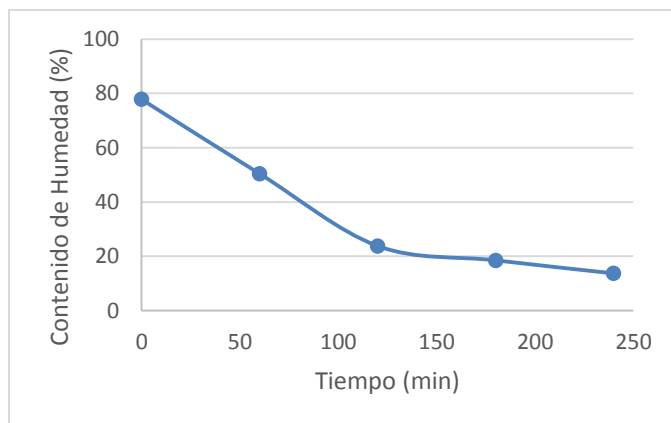


Figura 24. Curva de secado de banano

En la figura 24 representa la curva de secado de rodajas de banano *Cavendish Valery* por VR. El CH inicial de las muestras del banano fue de 77,8% b.h. \pm 0,5. Puede notarse que a mayor temperatura de secado la salida de agua es más rápida, de otra manera se puede decir que la muestra alcanza un determinado CH en menor tiempo de secado.

5.8 Proceso Convectivo

El banano (*Cavendish Valery*) utilizados como materia prima con un grado de maduración 3, los cuales se sometieron a operaciones de acondicionamiento, corte y en un baño de solución de ácido ascórbico para conservar el color, luego las rodajas de banano fueron sometidas al proceso de secado convectivo por bandeja, el equipo utilizado fue un secador de bandejas, se empleó los siguientes parámetros de temperaturas de 75 a 80°C durante 8 horas.

5.9 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las tecnologías de secado (Liofilizado, Ventana de refractancia y Convección forzada en las propiedades fisicoquímicas del banano (*Cavendish Valery*)).

Tabla 6. Resultados obtenidos para el banano tratado con diferentes métodos de secado.

Análisis								
Método de secado	Fibra (g/100g)	Humedad %	Vitaminas		Microbiológico		Capacidad antioxidante (μmoles eq.Trolox/g muestra)	Fuerza Máxima (N)
			Vitamina A (UI/100 g)	Vitamina C (mg/100 g)	Hongos (UFC/ g – mL)	Levaduras (UFC/ g – mL)		
Liofilización	11,507 ± 0,7	7,5	5,457 ± 0,8	2,813 ± 0,8	50	140	1886,00	63,93 ± 9,60
Ventana de refractancia	8,283 ± 0,8	13,7	9,147 ± 0,7	7,727 ± 0,7	<10	<10	2091,00	62,95 ± 10,80
Secado convectivo	8,453 ± 0,6	23,2	5,390 ± 0,10	0,380 ± 0,10	<10	<10	1228,00	60,76 ± 9,56

A partir del análisis de varianza (ANOVA) se pudo presentar el resultado que hay diferencias significativas entre los tratamientos y en la comparación de parejas de Tukey al 5% nivel de significación, el cual se determinó que ningunas de las medias de los tratamientos se comportaron iguales por lo tanto la diferencias en cada uno de los contenidos de fibra en los métodos de secado fueron diferentes como muestra el anexo 1. Como se aprecia en la liofilización la fibra se obtuvo notoriamente valores superiores y estos puede atribuirse a la temperatura que se manejó en el secado.

En el caso de la variable de las Vitaminas A y C el análisis de varianza (ANOVA) se pudo obtener resultados que mostro que hay diferencias significativas entre los tratamientos y en la comparación de parejas Tukey al 5% nivel de significación, se pudo determinar que ningunas medias de los tratamientos se comportaron iguales por lo tanto la diferencias en cada uno de los contenidos de vitaminas A y C en los métodos de secado fueron diferentes como muestra el anexo 2 y 3. A partir de los resultados obtenidos los contenidos de vitamina A y C concuerdan con los resultados obtenidos en investigaciones previas de Abonyi et al. 2002; Falconi et

al. 2013; Nindo et al., 2003 donde identificaron mayores contenidos de vitamina C en fresas y espárragos con la tecnología de ventana de refractancia que en el proceso de liofilización respectivamente debido al largo tiempo de secado (18-24 h) y al área de gran superficies o estructura de poros abiertos en los espárragos seco que facilita la oxidación del ácido ascórbico. Algunos estudios informan que la liofilización puede retener la cantidad de ácido ascórbico gracias a que el tratamiento se realiza con bajas temperaturas, obteniendo el mínimo deterioro de esta vitamina hidrosoluble (Shofian et al., 2011).

A partir del análisis de varianza (ANOVA) de la capacidad antioxidante se pudo obtener el resultado que mostro que hay diferencias significativas entre los tratamientos y en la comparación de parejas de Tukey al 5% nivel de significación, el cual se determinó que las medias de los tratamiento 2 y 1 se comportaron iguales por lo tanto la diferencias en cada uno de los contenidos de capacidad antioxidante en los métodos de secado de ventana de refractancia y liofilización fueron iguales mientras tanto el método de convección forzada fue diferente como muestra el anexo 4. La ventana de refractancia demostró ser superior y mostro mayor retención de la capacidad Antioxidante en el banano en cuanto a los dos métodos de secado liofilizado y convección forzada concuerda con los estudios obtenidos en investigaciones previas de Bernaert (2018) que concluyó que las muestras de puerro sometidas a tres métodos de secado, secado al aire, secado por congelación (L) y secado por VR, conservaban casi la misma capacidad antioxidante, con la excepción de la capacidad de absorción de radicales de oxígeno. Del estudio citado anteriormente, está claro que VR es una tecnología interesante para producir frutas y verduras deshidratadas con alta capacidad de Antioxidante.

También la capacidad antioxidante de las muestras secadas con VR fue ligeramente más alta pero no significativamente diferente de la de las muestras liofilizadas ($p < 0.05$). La capacidad antioxidante de las muestras secas VR fue significativamente mayor que la muestra secada por pulverización. (Baeghbali et al., 2016).

A partir del análisis de varianza (ANOVA) de la Fuerza máxima de fractura se pudo obtener el resultado que mostro que no hay diferencias significativas entre los tratamientos y en la comparación de parejas de Tukey al 5% nivel de significación, el cual se determinó que las medias de los tres tratamiento se comportaron iguales por lo tanto la diferencias en cada uno de las Fuerzas máxima de fracturas en los métodos de secado de liofilización, ventana de refractancia y convección forzada fueron iguales como muestra el anexo 5.

El secado por congelación (L) produce productos secos con una estructura porosa, lo que contribuye a una textura crujiente y una rápida rehidratación (Bui et al., 2018; Yu et al., 2011; Yu et al., 2017). La humedad de los alimentos congelados se elimina por sublimación en condiciones de vacío (0.075–0.375 torr) y baja temperatura ($<-40^{\circ}\text{C}$) durante la liofilización (Berk, 2009); por lo tanto, puede preservar los nutrientes y el sabor que son lábiles al calor. La Liofilización se ha utilizado ampliamente para producir productos agrícolas, productos cárnicos, productos farmacéuticos y cultivos microbianos de alto valor agregado. Recientemente, los bocadillos de fruta liofilizados están ganando el interés de los consumidores, ya que tienen una textura crujiente, sabor a fruta natural y una alta retención de nutrientes. El banano es uno de los candidatos ideales para los refrigerios liofilizados, ya que es una fruta tropical cultivada en muchos países, es un producto agrícola económico con alto contenido de azúcar y tiene un sabor dulce y valor nutricional (Monteiro et al., 2016).

6. CONCLUSIONES

Los resultados finales de la presente investigación indicó que utilizar un banano con un grado de maduración 6 se presenta un excesivo ablandamiento de la fruta en el proceso de osmodeshidratación y con un banano de grado de maduración 3 la textura es óptima, pero el sabor es astringente y es persistente hasta el final del proceso, por lo tanto en este punto se evalúo que no es necesario la aplicación del proceso de osmodeshidratación del banano con un grado de maduración intermedio siempre y cuando se utilice rápidamente en los diferentes procesos de secado.

Las muestras secas por VR a 90°C mostraron resultados de mayor retención de vitaminas A y C y Capacidad antioxidante, en cuanto a las muestras liofilizadas debido al largo tiempo de procesamiento (18-24 h) y al área de la estructura de poros abiertos del banano seco facilita la oxidación del ácido ascórbico y permite tejidos más expuestos para los microorganismos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Abonyi, B., Feng, H., Tang, J., Edwards, C., Chew, B., Mattinson, D., y Fellman, J. (2002). Retención de la calidad en purés de fresa y zanahoria secados con refractancia del sistema Window TM. *Journal of Food Science*, 67(3), 1051-1056.
- AUGURA. (2017). Coyuntura Bananera 2017. Recuperado de <http://www.augura.com.co/wp-content/uploads/2015/08/COYUNTURA-BANANERA-2017.pdf>
- Baeghballi, V., Niakousari, M., y Farahnaky, A. (2016). Secado de refractancia del jugo de granada: retención de calidad y eficiencia energética: <https://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2444/10.1016/j.lwt.2015.10.017>
- Barbosa-Cánovas, G. V., & Vega-Mercado, H. (2000). *Deshidratación de alimentos*
- Berk, Z. (2009). Ingeniería de procesos alimentarios y tecnología. Prensa Académica. pp. 511–523.
- Bernaert, N., Van Droogenbroeck, B., Van Pamel, E., & De Ruyck, H. (2018). *Innovative refractance window drying technology to keep nutrient value during processing* doi: <https://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2444/10.1016/j.tifs.2018.07.029>
- Bui, LTT, Coad, RA y Stanley, RA (2018). *Propiedades del arroz liofilizado rehidratado en función del procesamiento de tratamientos* doi: <https://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2444/10.1016/j.lwt.2018.01.039>
- Della, P. (2010). *Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente* (Doctoral dissertation, Tesis de Maestría en Tecnología de los Alimentos. Facultad Regional Buenos Aires. Argentina).
- DLP, G. C. R., ZULUAGA, C. L., PUERTA, L. F., & RUIZ, L. V. (2018). Evaluación de parámetros fisicoquímicos en el proceso de fritura de banano osmodeshidratado. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 123-129.
- Falconi, P. R. P., Manrique, S. A. V., Basantes, E. F. B., & Marcelo, T. "EVALUACIÓN DEL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN EN BANANA (MUSA X PARADISIACA) COMO TECNOLOGÍA DE TRANSFORMACIÓN

- ALIMENTARIA" (Evaluation of freeze-drying process in banana (*Musa x paradisíaca*) as food processing technology).
- Krokida, M.K., Karathanos, V.T., Maroulis, Z.B., (2002) Marino D. Drying kinetics of some vegetables. *Journal of Food Engineering* 59 (2003) 391-403
- Monteiro, R. L., Carciofi, B. A. M., & Laurindo, J. B. (2016). A *microwave multi-flash drying process for producing crispy bananas* doi:<https://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2444/10.1016/j.foodeng.2015.12.024>
- Nindo, CI, Sun, T., Wang, SW, Tang, J. y Powers, JR (2003). *Evaluación de las tecnologías de secado para la retención de la calidad física y los antioxidantes en el espárrago (espárrago officinalis, L.)* doi: [https://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2444/10.1016/S0023-6438\(03\)00046-X](https://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2444/10.1016/S0023-6438(03)00046-X)
- Ortiz M. (2014). *Modelación Matemática Del Secado De Alimentos Por El Método De Ventana De Refractancia*.
- Ormaza, A. M., Ayala-Aponte, A. A., & Ortega, K. J. (2016). CAMBIOS FÍSICOS DURANTE EL SECADO DE BANANO BOCADILLO (*musa acuminata colla*) MEDIANTE LA TÉCNICA DE VENTANA DE REFRACTANCIA/PHYSICAL CHANGES DURING THE DRYING OF" BOCADILLO BANANA"(*musa acuminata colla*) USING THE TECHNIQUE OF REFRACTANCE WINDOW. *Vitae*, 23, S84.
- Orrego, C. E., Ocampo, J. C., & González, J. D. (2016). Aplicación de ultrasonido de potencia como pretratamiento para el secado convectivo de banano (*musa paradisiaca* sp.). *Agronomía Colombiana*, 34(1Supl), S454-S456.
- Rojas, M. A., & Rodríguez, M. V. (2015). Análisis de la producción y comercialización del banano, su aceptación y evolución frente al tratado de libre comercio con la unión europea.
- Sagar V.R., Suresh, P. (2010). Recent advances in drying and dehydration on fruits and vegetables: a review. *Chemistry and Materials Science, Journal of Food Science and Technology*, Vol. 47 (1), 15-26.
- Soto, M. (2011). Situación y avances tecnológicos en la producción bananera mundial. *Revista Brasileira De Fruticultura*, 33(6)
- Yu, K., Chen, C., & Wu, P. (2011). Research on application and rehydration rate of vacuum freeze drying of rice. *Journal of Applied Sciences*, 11(3), 535-541.

Yu, L., Turner, MS, Fitzgerald, M., Stokes, JR, y Witt, T. (2017). *Revisión de los efectos de las diferentes tecnologías de procesamiento en la calidad del arroz cocido* y conveniente: <https://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2444/10.1016/j.tifs.2016.11.009>

8. ANEXOS

ANEXO 1. ANOVA FIBRA

ANOVA de un solo factor: Fibra vs. Metodos de secado

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Metodos de secado	3	1. 2. 3

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodos de secado	2	19,7416	9,87081	11844,97	0,000
Error	6	0,0050	0,00083		
Total	8	19,7466			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0288675	99,97%	99,97%	99,94%

Medias

Metodos de secado	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	3	11,5067	0,0404	(11,4659. 11,5474)
2	3	8,2833	0,0252	(8,2426. 8,3241)
3	3	8,45333	0,01528	(8,41255. 8,49412)

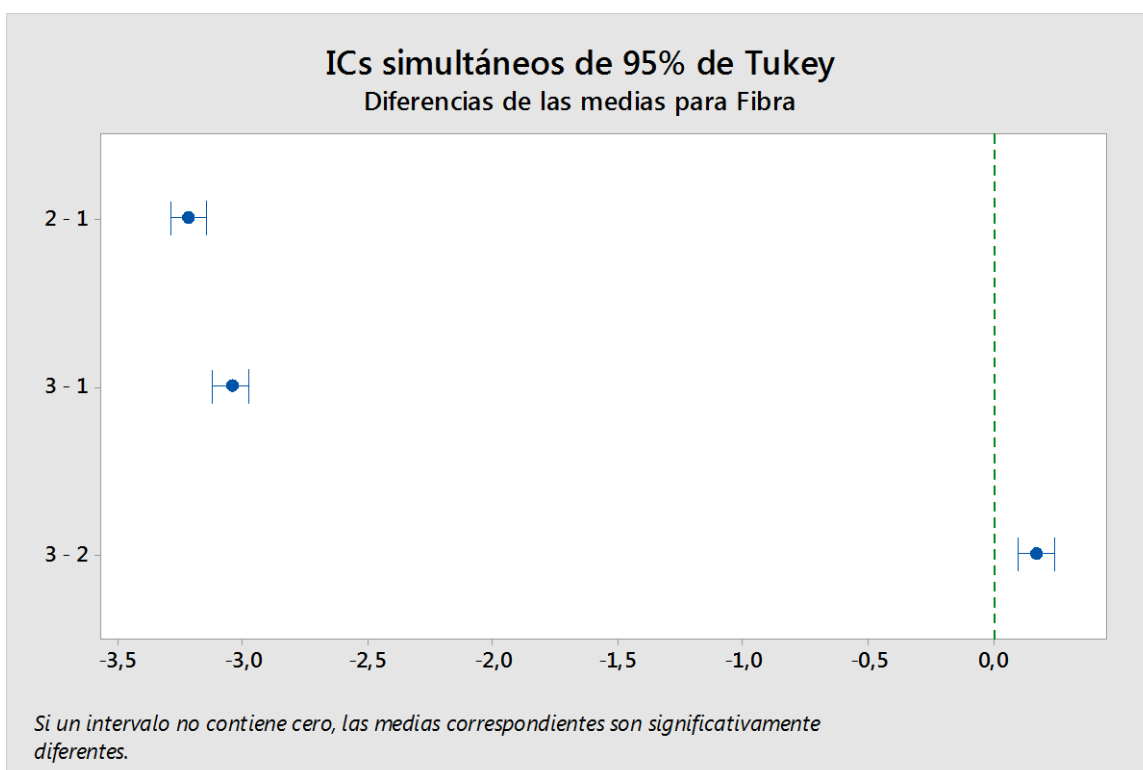
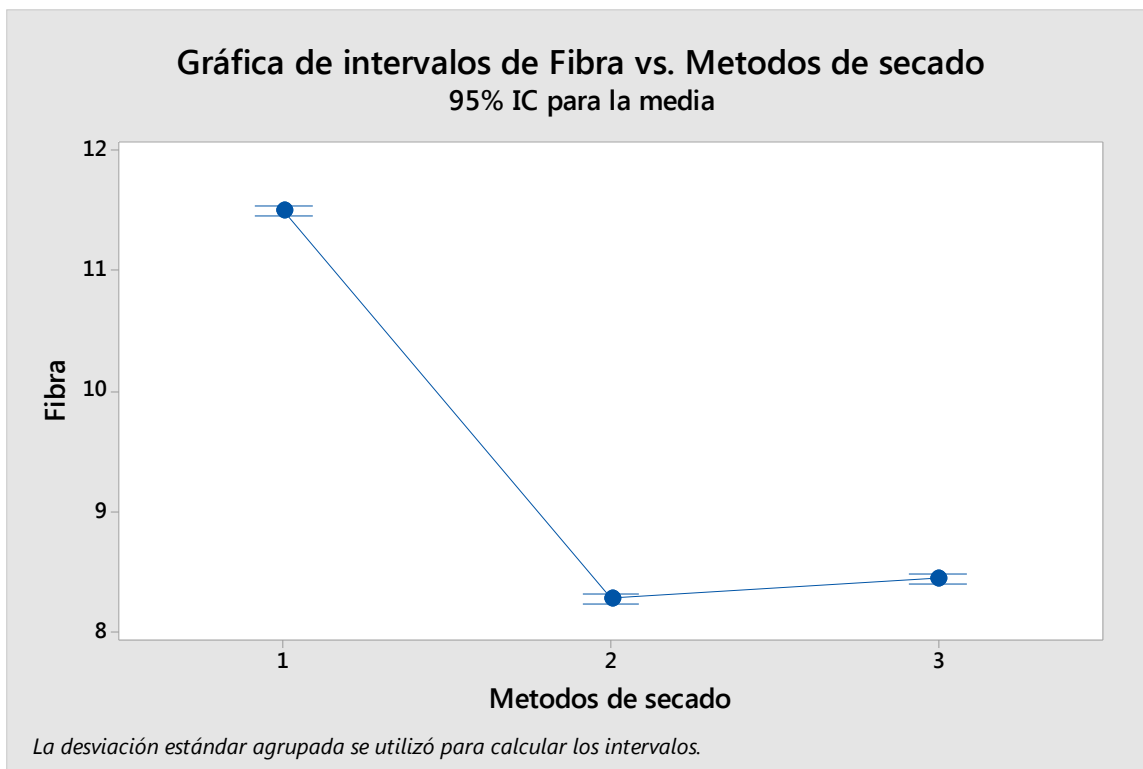
Desv.Est. agrupada = 0,0288675

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodos de secado	N	Media	Agrupación
1	3	11,5067	A
3	3	8,45333	B
2	3	8,2833	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



ANEXO 2. ANOVA VITAMINA A

ANOVA de un solo factor: Vitamina A vs. Metodos de secado

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Metodos de secado	3	1, 2, 3

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodos de secado	2	27,7331	13,8665	54260,39	0,000
Error	6	0,0015	0,0003		
Total	8	27,7346			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0159861	99,99%	99,99%	99,99%

Medias

Metodos de secado	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	3	5,45667	0,01528	(5,43408, 5,47925)
2	3	9,1467	0,0208	(9,1241, 9,1693)
3	3	5,39000	0,01000	(5,36742, 5,41258)

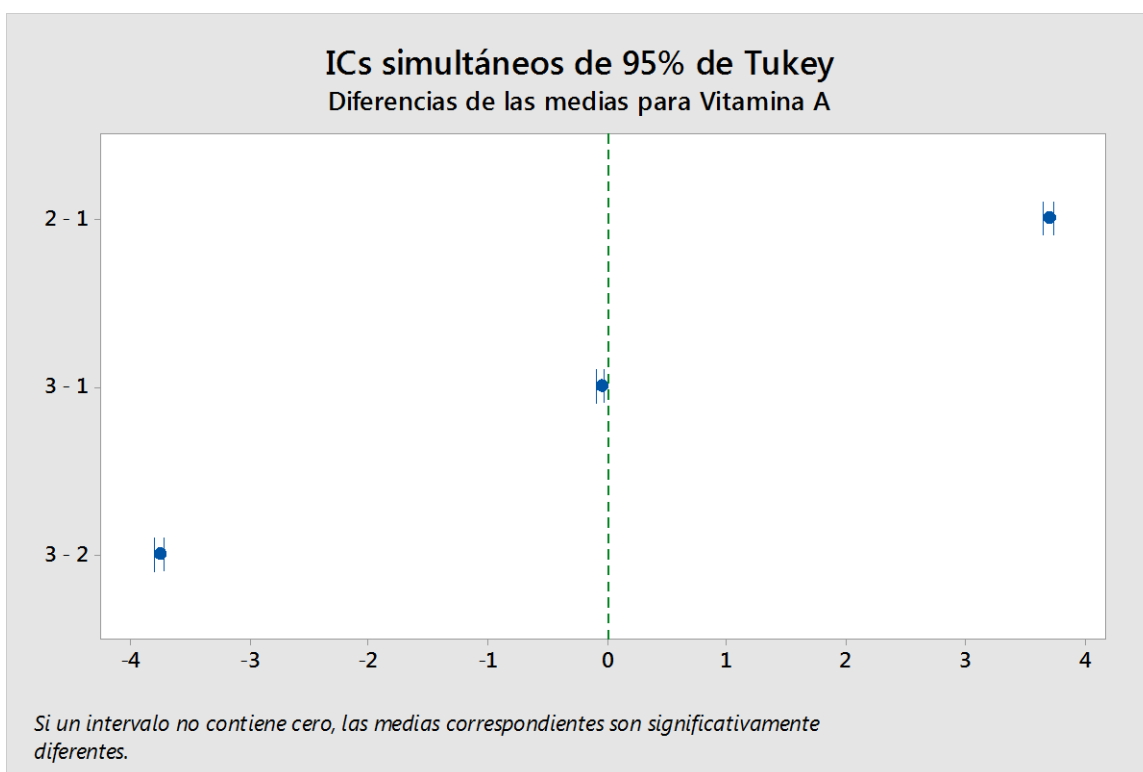
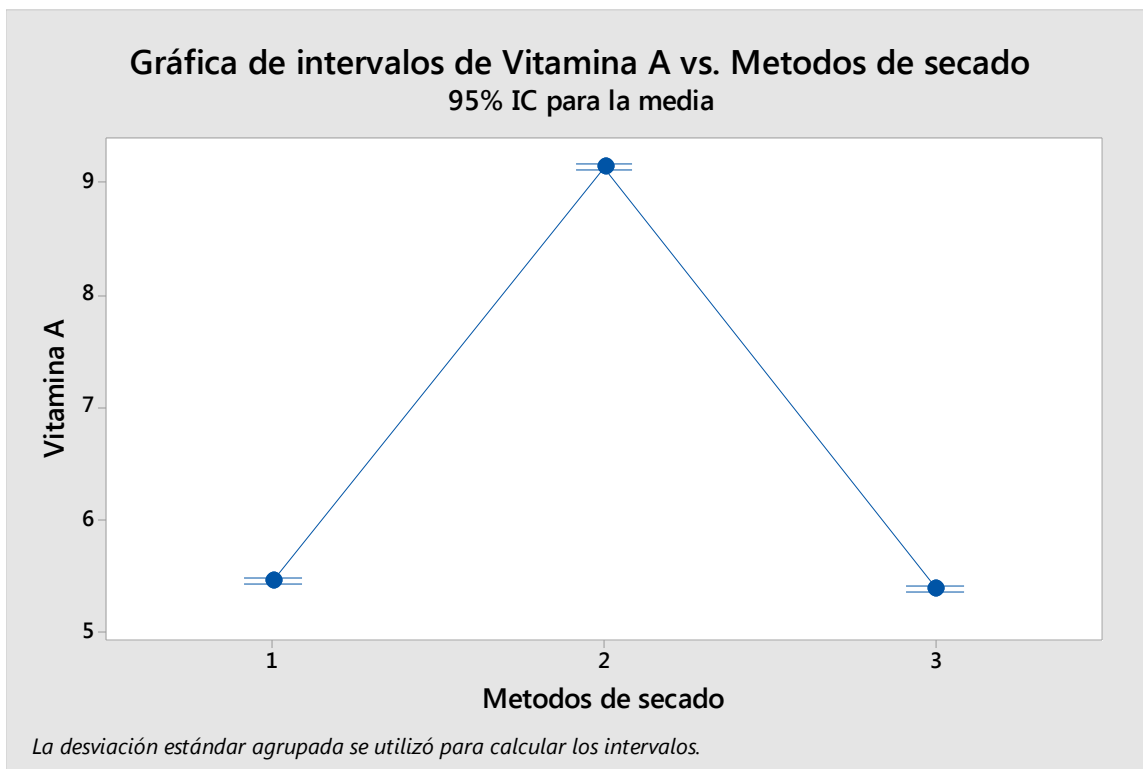
Desv.Est. agrupada = 0,0159861

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodos de secado	N	Media	Agrupación
2	3	9,1467	A
1	3	5,45667	B
3	3	5,39000	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



ANEXO 3. ANOVA VITAMINA C

ANOVA de un solo factor: Vitamina C vs. Metodos de secado

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Metodos de secado	3	1. 2. 3

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodos de secado	2	84,0355	42,0177	164417,22	0,000
Error	6	0,0015	0,0003		
Total	8	84,0370			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0159861	100,00%	100,00%	100,00%

Medias

Metodos de secado	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	3	2,81333	0,01528	(2,79075. 2,83592)
2	3	7,7267	0,0208	(7,7041. 7,7493)
3	3	0,38000	0,01000	(0,35742. 0,40258)

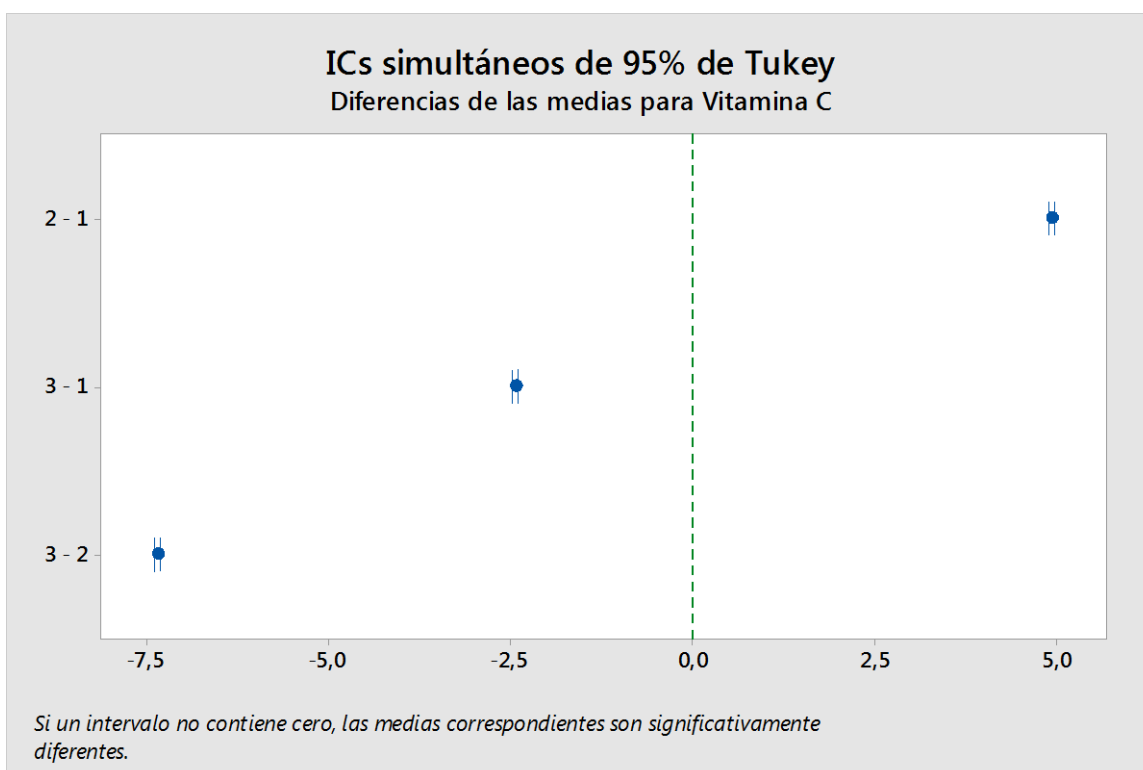
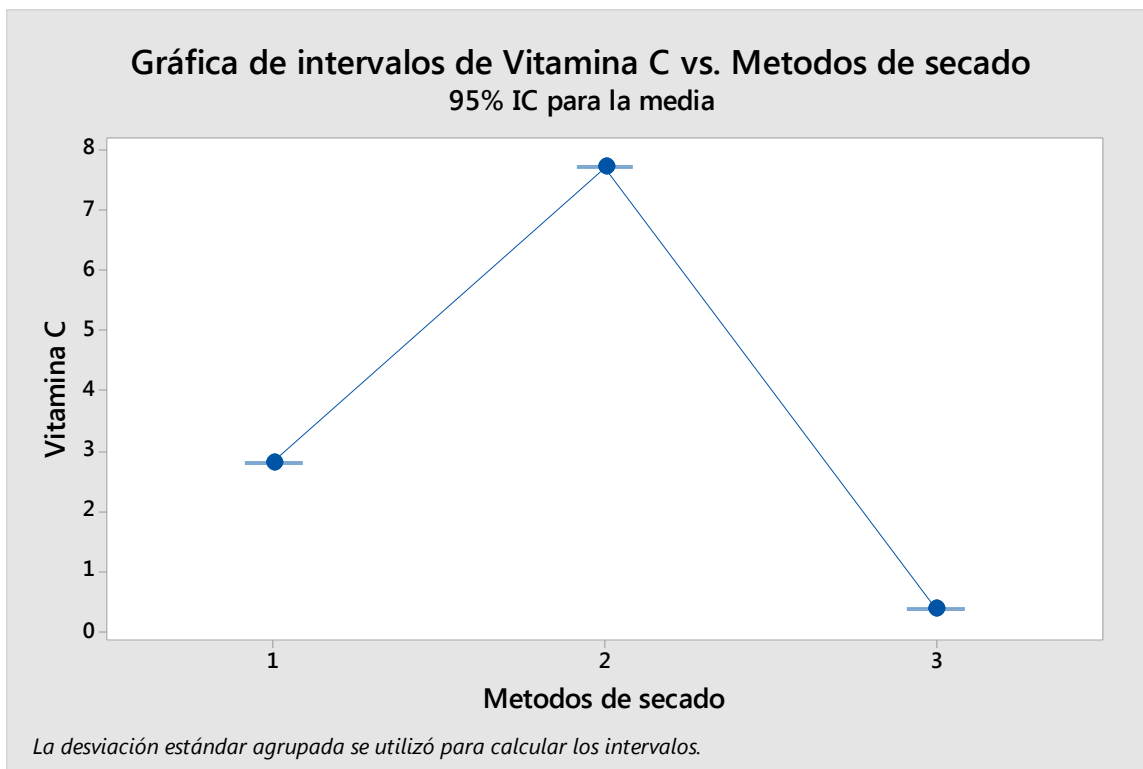
Desv.Est. agrupada = 0,0159861

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodos de secado	N	Media	Agrupación
2	3	7,7267	A
1	3	2,81333	B
3	3	0,38000	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



ANEXO 4. ANOVA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

ANOVA de un solo factor: Capacidad Antioxidante vs. ... os de secado

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Metodos de secado	3	1. 2. 3

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodos de secado	2	1219758	609879	79,08	0,000
Error	6	46272	7712		
Total	8	1266030			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
87,8179	96,35%	95,13%	91,78%

Medias

Metodos de secado	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	3	1886,0	84,1	(1761,9. 2010,1)
2	3	2091,0	114,2	(1966,9. 2215,1)
3	3	1228,0	55,0	(1103,9. 1352,1)

Desv.Est. agrupada = 87,8179

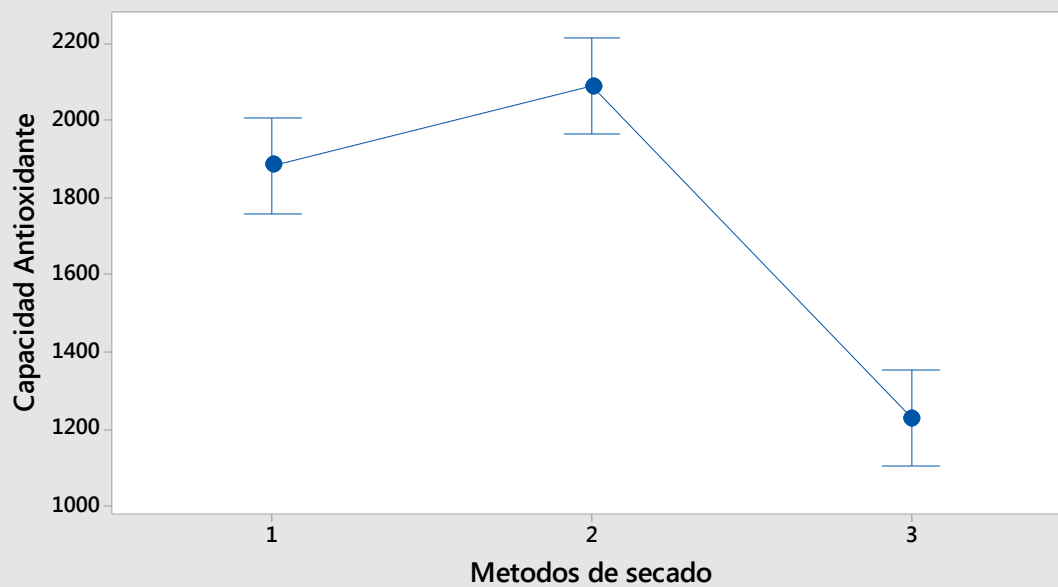
Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodos de secado	N	Media	Agrupación
2	3	2091,0	A
1	3	1886,0	A
3	3	1228,0	B

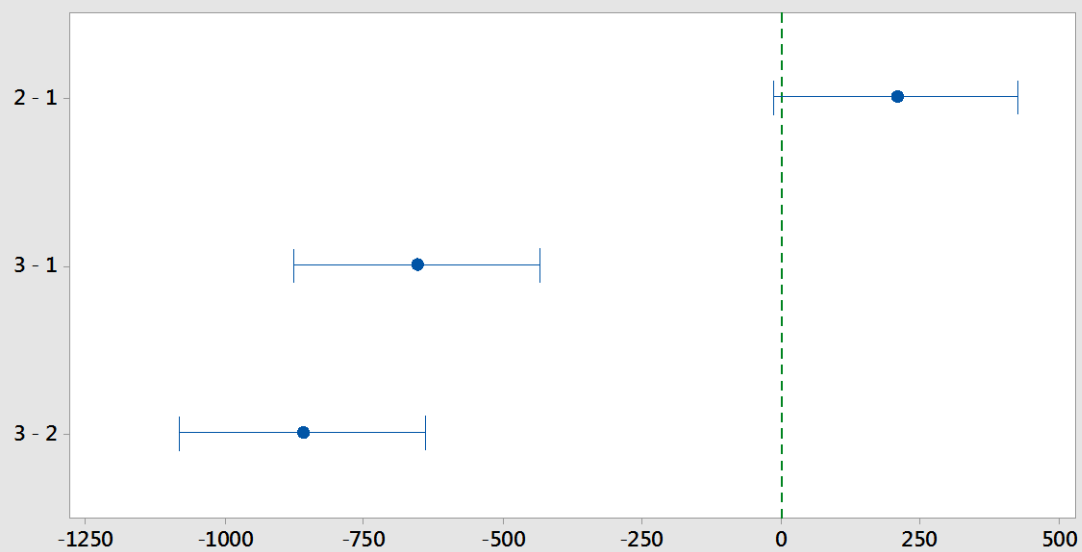
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Gráfica de intervalos de Capacidad Antioxidante vs. Metodos de secado 95% IC para la media



La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.

ICs simultáneos de 95% de Tukey Diferencias de las medias para Capacidad Antioxidante



Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.

ANEXO 5. ANOVA FUERZA MÁXIMA

ANOVA de un solo factor: Fuerza Máxima vs. Metodos de secado

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Metodos de secado	3	1. 2. 3

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodos de secado	2	15,81	7,903	0,08	0,925
Error	6	600,39	100,065		
Total	8	616,19			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
10,0032	2,57%	0,00%	0,00%

Medias

Metodos de secado	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	3	63,93	9,60	(49,80. 78,06)
2	3	62,95	10,80	(48,82. 77,08)
3	3	60,76	9,56	(46,63. 74,89)

Desv.Est. agrupada = 10,0032

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodos de secado	N	Media	Agrupación
1	3	63,93	A
2	3	62,95	A
3	3	60,76	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

